

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

(11)



EP 0 766 358 A1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
02.04.1997 Patentblatt 1997/14

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: H01S 3/06, G02B 6/26

(21) Anmeldenummer: 96114910.1

(22) Anmeldetag: 17.09.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB IT

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)

(30) Priorität: 28.09.1995 DE 19536231

(72) Erfinder: Haltenorth, Helmut, Dr.  
80993 München (DE)

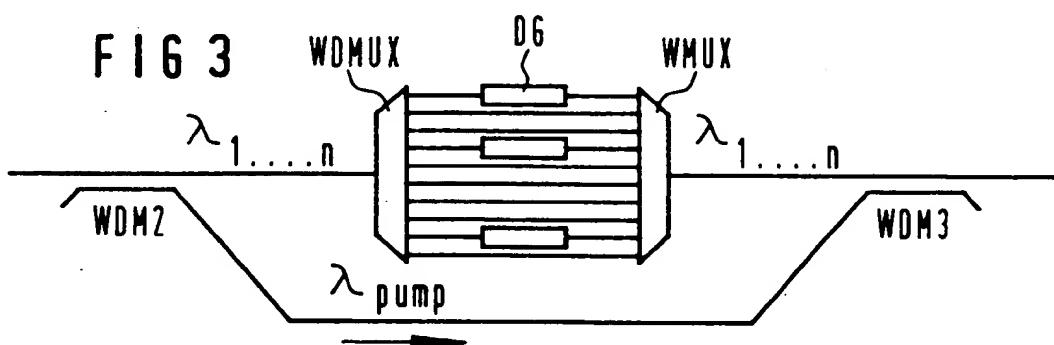
### (54) Faserverstärker für mehrere Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen unter Einsatz eines Wellenlängendemultiplexers und eines Wellenlängenmultiplexers

(57) Faserverstärker für mehrere Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen unter Einsatz eines Wellenlängendemultiplexers und eines Wellenlängenmultiplexers.

Ein Faserverstärker zur Verstärkung mehrerer optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen ( $\lambda_1 \dots n$ ) ist mit einer dotierten Faser (DF1) und einem Pumplaser (PL) gebildet. In die dotierte Faser ist ein mit einem Wellenlängendemultiplexer (WDMUX) und einem Wellenlängenmultiplexer (WMUX) gebildetes Verlustelement (VE) eingefügt. Zur Erzielung von unter-

einander gleich hohen Pegeln der Signale können zwischen dem Wellenlängendemultiplexer und dem Wellenlängenmultiplexer die unterschiedliche Verstärkung der einzelnen Wellenlängen kompensierende Dämpfungsglieder (DG) angeordnet sein. Beim anmeldungsgemäßen Faserverstärker wird das außerhalb der Wellenlängen liegende Rauschen unterdrückt, womit auch die bei kaskadierten Faserverstärkern auftretende Rauschakkumulation reduziert wird und ein verbessertes Signal zu Rauschverhältnis gegeben ist.

FIG 3



EP 0 766 358 A1

## Beschreibung

Bei der Weiterleitung eines optischen Signales über eine Übertragungsstrecke, in der eine Glasfaser als Wellenleiter dient, kann zur Kompensation der Streckenverluste eine mehrfache Verstärkung in kaskadierten Faserverstärkern erforderlich sein. Dabei wird angestrebt, daß das optische Signal am Ausgang jedes Faserverstärkers unabhängig von der mittleren Leistung des optischen Signales am Eingang des Faserverstärkers auf den gleichen Pegel bei geringstmöglicher Verschlechterung des Signal zu Rauschverhältnisses angehoben wird. Die in einem Faserverstärker innerhalb der Verstärkungsbandbreite auftretende Spontanemission führt durch Verstärkung in den nachfolgenden Faserverstärkern zu einer in der Fachwelt als ASE(Accumulated Stimulated Emission) bekannten Rauschakkumulation und damit zu einer weiteren Verschlechterung des Signal zu Rauschverhältnisses. Werden im Zuge einer WDM(Wavelength Division Multiplex)-Übertragung mehrere optische Signale mit unterschiedlichen, im spektralen Verstärkungsbereich benachbarten Wellenlängen über eine Glasfaserstrecke übertragen, werden am Ausgang eines Faserverstärkers eine von der Wellenlänge unabhängige Anhebung auf den gleichen Pegel und eine über sämtliche Wellenlängen gleichmäßige Verschlechterung des Signal zu Rauschverhältnisses angestrebt. Bekannte Faserverstärker verstärken einen Kamm von vielen Signal-Wellenlängenkanälen im Verstärkungsspektrum ungleichmäßig, nämlich in Abhängigkeit von der Lage im Verstärkungsspektrum, von dem Leistungspegel des Kanals am Eingang des Faserverstärkers und von der summierten Leistung der Signale am Eingang des Faserverstärkers.

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Verstärkung mehrerer optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen in einem optischen Signale führenden Wellenleiter, bei der

- ein erster Koppler WDM1 mit seinen Eingängen mit einem optischen Signal führenden Eingangswellenleiter EW beziehungsweise mit einem, ein optisches Signal mit einer Pumpwellenlänge  $\lambda_{\text{pump}}$  abgebenden Pumplaser verbunden ist und der mit seinem Ausgang mit dem einen Ende einer ersten dotierten Faser DF1 verbunden ist
- der Eingang eines Wellenlängenkopplers WDM2 mit dem anderen Ende der ersten dotierten Faser verbunden ist und der das optische Signal mit der Pumpwellenlänge führende eine Ausgang des Wellenlängenkopplers WDM2 mit einem Eingang eines Koplplers WDM3 verbunden ist und der die mehreren optischen Signale führende andere Ausgang des Wellenlängenkopplers WDM2 über ein Verlustelement mit dem anderen Eingang des Koplplers WDM3 verbunden ist
- der Ausgang des Koplplers WDM3 mit dem einen Ende einer zweiten dotierten Faser DF2 verbunden

ist und

- das andere Ende der zweiten dotierten Faser mit dem das verstärkte optische Signal führenden Ausgangswellenleiter AW verbunden ist.

Verstärkeranordnungen für den Einwellenbetrieb mit einem optischen Filter oder einem Isolator in der dotierten Faserstrecke des Faserverstärkers sind aus A.Yu, M.Mahony, S. A. Siddiqui; Proceedings of ECOC 92, Berlin September 1992; paper WeP2.4; pp. 481-484 oder aus M. N. Zervas, R.I. Laming; Proceedings of ECOC 92, Berlin September 1992; paper MoA3.2; pp. 81-84 bekannt. Verstärkeranordnungen, bei denen das optische Signal in einer konzentrierten Einheit gedämpft wird, während die Pumpwellenlänge weitgehend ungedämpft passieren kann, werden in der Fachwelt als lumped-loss-Konfiguration bezeichnet.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine Anordnung zur Verstärkung mehrerer optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen in einem optischen Signale führenden Wellenleiter anzugeben, bei der die oben dargelegten Nachteile vermieden sind.

Das Problem wird dadurch gelöst, daß das Verlustelement durch einen mit einem Wellenlängendemultiplexer (WDMUX) zusammenwirkenden Wellenlängenmultiplexer (WMUX) gegeben ist und der Anordnung auf dem Eingangswellenleiter mehrere optische Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen zugeführt sind.

Bei dem Erfindungsgegenstand sind mehrere Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen in lediglich einem Faserverstärker auf einen im wesentlichen gleich hohen Pegel verstärkbar; die Anzahl der Durchlaßbereiche des Faserverstärkers ist genau auf die Anzahl der mehreren optischen Signale begrenzbar, womit Rauschanteile und damit auch durch Spontanemission bedingte Rauschakkumulationen, die zwischen den Durchlaßbereichen oder innerhalb von nicht benötigten Durchlaßbereichen liegen, ausgangsseitig unterdrückt sind. Beim Erfindungsgegenstand ist also das Gesamt-rauschen verringert. Beim Erfindungsgegenstand sind die Abstände der Durchlaßbereiche bezüglich der Wellenlängen frei von einer Periodizität der Wellenlängen wählbar.

Bei einer besonderen Ausgestaltung sind die Transmission für jede Wellenlänge gesondert, beispielsweise durch Einfügen von Dämpfungsgliedern zwischen den Wellenlängendemultiplexer und den Wellenlängenmultiplexer, wählbar. Diese Maßnahme bringt eine Anpaßbarkeit der Verstärkung für jede Wellenlänge mit sich.

Gemäß einer besonderen Ausführungsform sind zur Erzielung von untereinander gleichen Pegeln der Wellenlängen am Ausgang des Faserverstärkers für die einzelnen Wellenlängen Dämpfungsglieder, die die unterschiedlichen Verstärkungen kompensieren, gegeben; dabei kann zur Kompensation der unterschiedlichen spektralen Verstärkung des Faserverstärkers das Vielfachfilter mit seiner Eihüllende des Filterkurvenkamms komplementär zur spektralen Verstärkungskurve des Faserverstärkers ausgebildet sein.

Gemäß einer besonderen Ausführungsform ist in Serie mit dem Wellenlängendemultiplexer und dem Wellenlängenmultiplexer ein optischer Isolator angeordnet. Durch diese Maßnahme werden im unidirektionalen Signalverkehr die auf einer durch Spontanemission bedingten Rauschakkumulation beruhenden Rauschanteile, die nicht durch das optische Vielfachfilter herausgefiltert werden, unterdrückt.

Gemäß einer besonderen Ausführungsform ist bei höheren Verlusten anstelle des Wellenlängenmultiplexers ein Vielfachkoppler gegeben.

Die Erfindung wird nun als Ausführungsbeispiel in einem zum Verständnis erforderlichen Umfang anhand von Figuren näher erläutert. Dabei zeigen:

- Fig 1 eine prinzipielle Darstellung eines erfindungsgemäßen Faserverstärkers zur Verstärkung mehrerer optischer Signale
- Fig 2 eine erste erfindungsgemäße Ausführungsform des Verlustelementes aus Fig 1.
- Fig 3 eine zweite erfindungsgemäße Ausführungsform des Verlustelementes aus Fig 1.
- Fig 4 eine dritte erfindungsgemäße Ausführungsform des Verlustelementes aus Fig 1.

Ein erster Koppler WDM1 ist mit seinen Eingängen mit einem mehrere optische Signale mit benachbarten, unterschiedliche Wellenlängen  $\lambda_1..n$  führenden Eingangswellenleiter EW beziehungsweise mit einem ein optisches Signal mit einer Pumpwellenlänge  $\lambda_{\text{pump}}$  abgebenden Pumplaser PL verbunden. In unmittelbarer Nähe des Eingangswellenleiters ist ein mögliches Spektrum von dem Eingangswellenleiter zugeführten Signalen mit unterschiedlichen, benachbarten Wellenlängen und unterschiedlichen, niedrigen Pegeln ange deutet. Der Ausgang des ersten Kopplers ist mit dem einen Ende einer ersten dotierten Faser DF1 verbunden. Das andere Ende der ersten dotierten Faser DF1 ist mit dem Eingang eines Wellenlängenkopplers WDM2 verbunden. Ein Ausgang des Wellenlängenkopplers WDM2, der ein bevorzugtes Durchlaßverhalten für das optische Signal mit der Pumpwellenlänge aufweist, ist mit einem Eingang eines Kopplers WDM3 verbunden. Der die mehreren optischen Signale führende andere Ausgang des Wellenlängenkopplers WDM2 ist über eine Verlustelement VE mit dem anderen Eingang des Kopplers WDM3 verbunden. Der Wellenlängenkoppler WDM2, das Verlustelement und der Koppler WDM3 bilden also eine Anordnung, in der das Signal mit der Pumpwellenlänge weitgehend unge dämpft weitergeleitet wird und die mehreren optischen Signale in ihrem Pegel erheblich gedämpft weitergeleitet werden. Das eine Ende einer zweiten dotierten Faser DF2 ist mit dem Ausgang des Kopplers WDM3 und das andere Ende der zweiten dotierten Faser mit einem Ausgangswellenleiter AW verbunden. In unmittel-

barer Nähe des Ausgangswellenleiters ist ein mögliches Spektrum von verstärkten Signalen mit im wesentlichen untereinander gleich hohen Pegeln angedeutet. Der erste Koppler WDM1 und/oder der dritte Koppler WDM3 können in einer Bauart ausgeführt sein, bei der die Eingänge ein von der Wellenlänge der zugeführten Signale unabhängiges Durchlaßverhalten aufweisen; in einer besonderen Ausführungsform ist erste Koppler WDM1 und/oder der dritte Koppler je durch einen Wellenlängenkoppler gegeben, bei dem der Eingang, an dem das optische Signal mit der Pumpwellenlänge zugeführt ist, ein bevorzugtes Durchlaßverhalten für die Pumpwellenlänge aufweist.

Fig 2 zeigt ein zwischen den Wellenlängenkoppler WDM2 und den Koppler WDM3 eingefügtes Verlustelement, das mit einem Fabry-Perot-Filter FPF gebildet ist. Die Lagen und die Abstände der Wellenlängen-Durchlaßbereiche des Fabry-Perot-Filters, die auch als Transmissionskamm oder in der Fachwelt als Free Spectral Range (FSR) bezeichnet werden, gleichen den Lagen und den Abständen der Wellenlängen der mehreren optischen Signale, wobei die Wellenlänge jedes Signals genau einem Durchlaßbereich zugeordnet ist. Das Fabry-Perot-Filter filtert die zwischen den Durchlaßbereichen liegenden Rauschanteile und damit auch die zwischen den Durchlaßbereichen liegenden Rauschakkumulationen, die durch Spontanemission bedingt sind, weg, womit das Gesamtrauschen verringert ist. In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist das Fabry-Perot-Filter als ein bezüglich der Lagen und die Abstände der Wellenlängen-Durchlaßbereiche abstimmbares Fabry-Perot-Filter ausgeführt. Bei dem abstimmbaren Fabry-Perot-Filter sind durch Veränderung des Transmissionskammes Wellenlängenkanäle ausblendbar, womit die Möglichkeit einer eingeschränkten Vermittlungsfunktion gegeben ist.

Fig 3 zeigt ein zwischen den Wellenlängenkoppler WDM2 und den Koppler WDM3 eingefügtes Verlustelement, das mit einem Wellenlängendemultiplexer WDMUX und einem Wellenlängenmultiplexer WMUX gebildet ist. Die Durchlaßbereiche des Wellenlängendemultiplexers und des Wellenlängenmultiplexers gleichen den Wellenlängen der mehreren Signale. Bei höheren Verlusten kann anstelle des Wellenlängenmultiplexers ein Vielfachkoppler angeordnet sein. Die Anordnung nach Fig 3 bildet also ein Vielfachfilter für genau die Anzahl der mehreren optischen Signale. Bei der Anordnung nach Fig 3 ist die Anzahl der Durchlaßbereiche genau auf die Anzahl der mehreren optischen Signale begrenzbar, womit Rauschanteile, die innerhalb von nicht benötigten Durchlaßbereichen liegen, ausgangsseitig unterdrückt sind. Bei der Anordnung nach Fig 3 sind die Abstände der Durchlaßbereiche bezüglich der Wellenlängen frei von einer Periodizität der Wellenlängen wählbar. Bei einer besonderen Ausgestaltung der Anordnung nach Fig 3 ist die Transmission für jede Wellenlänge gesondert, beispielsweise durch Einfügen von Dämpfungsgliedern DG zwischen den Wellenlängendemultiplexern und den Wellenlängen-

multiplexer, wählbar. Diese Maßnahme bringt zur Erzielung von untereinander gleichen Pegeln der Wellenlängen am Ausgang des Faserverstärkers eine Anpaßbarkeit der Verstärkung für jede Wellenlänge mit sich; dabei kann zur Kompensation der unterschiedlichen spektralen Verstärkung des Faserverstärkers das Vielfachfilter mit seiner Einhüllende des Filterkurvenkammes komplementär zur spektralen Verstärkungskurve des Faserverstärkers ausgebildet sein.

Die Anordnungen nach Fig 2 und Fig 3 sind für bidirektionale Übertragung von auf einem Wellenleiter geführten Signalen brauchbar. Bei der Anordnung nach Fig 3 sind für eine bidirektionale Übertragung mit optischen Signalen unterschiedlicher Wellenlänge durch Anordnung geeigneter Dämpfungsglieder zwischen dem Wellenlängendemultiplexer und dem Wellenlängenmultiplexer eine Anpaßbarkeit an die jeweils erforderlichen Verstärkungen gegeben.

Fig 4 zeigt ein mit einem Vielfachfilter aus Fig 3 gebildetes Verlustelement, dem in Signalrichtung ein optischer Isolator OI nachgeschaltet ist. Bei dieser Anordnung werden im unidirektionalen Signalverkehr die auf einer durch Spontanemission bedingten Rauschakkumulation beruhenden Rauschanteile, die nicht durch das optische Vielfachfilter herausgefiltert werden, unterdrückt.

#### Patentansprüche

1. Anordnung zur Verstärkung mehrerer optischer Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen ( $\lambda_1..n$ ) in einem optische Signale führenden Wellenleiter, bei der

- ein erster Koppler (WDM1) mit seinen Eingängen mit einem ein optisches Signal führenden Eingangswellenleiter (EW) beziehungsweise mit einem, ein optisches Signal mit einer Pumpwellenlänge  $\lambda_{\text{pump}}$  abgebenden Pump-laser (PL) verbunden ist und der mit seinem Ausgang mit dem einen Ende einer ersten dotierten Faser (DF1) verbunden ist
- der Eingang eines Wellenlängenkopplers (WDM2) mit dem anderen Ende der ersten dotierten Faser verbunden ist und der das optische Signal mit der Pumpwellenlänge führende eine Ausgang des Wellenlängenkopplers (WDM2) mit einem Eingang eines Kopplers (WDM3) verbunden ist und der die mehreren optischen Signale führende andere Ausgang des Wellenlängenkopplers (WDM2) über ein Verlustelement mit dem anderen Eingang des Kopplers (WDM3) verbunden ist
- der Ausgang des Kopplers (WDM3) mit dem einen Ende einer zweiten dotierten Faser (DF2) verbunden ist
- das andere Ende der zweiten dotierten Faser mit dem das verstärkte optische Signal führenden Ausgangswellenleiter (AW) verbunden ist

dadurch gekennzeichnet, daß

das Verlustelement durch einen mit einem Wellenlängendemultiplexer (WDMUX) zusammenwirkenden Wellenlängenmultiplexer (WMUX) gegeben ist und der Anordnung auf dem Eingangswellenleiter mehrere optische Signale mit unterschiedlichen Wellenlängen zugeführt sind.

2. Anordnung nach Anpruch 1  
dadurch gekennzeichnet, daß in einen den Wellenlängendemultiplexer mit dem Wellenlängenmultiplexer verbindenden Wellenleiter, der ein Signal mit genau einer Wellenlänge führt, ein Dämpfungsglied (DG) eingefügt ist.
3. Anordnung nach Anpruch 2  
dadurch gekennzeichnet, daß die unterschiedlichen Verstärkungen für die einzelnen Wellenlängen kompensierende Dämpfungsglieder gegeben sind.
4. Anordnung nach einem der vorstehenden Anprüche  
dadurch gekennzeichnet, daß in Serie mit dem Wellenlängendemultiplexer und dem Wellenlängenmultiplexer ein optischer Isolator angeordnet ist.
5. Anordnung nach einem der vorstehenden Anprüche  
dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Wellenlängenmultiplexers ein Vielfachkoppler gegeben ist.

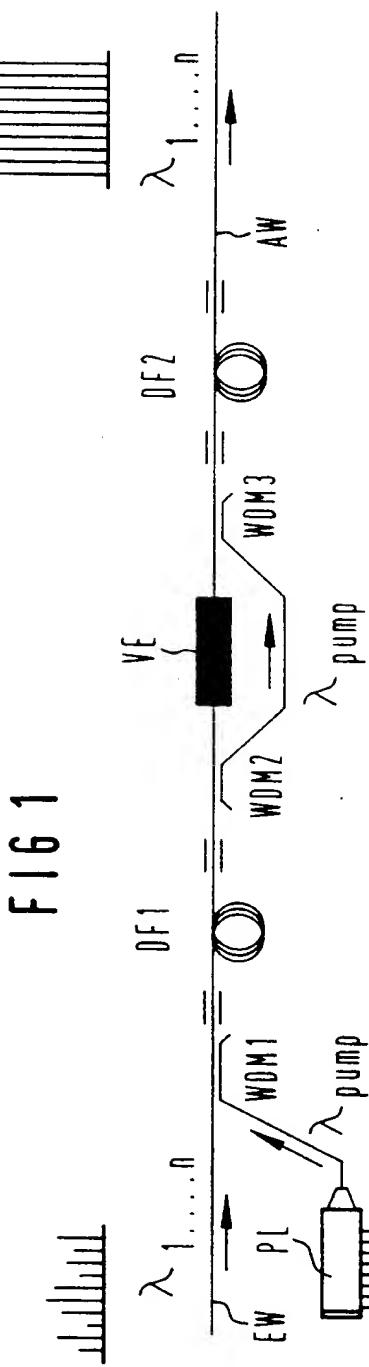


FIG 2

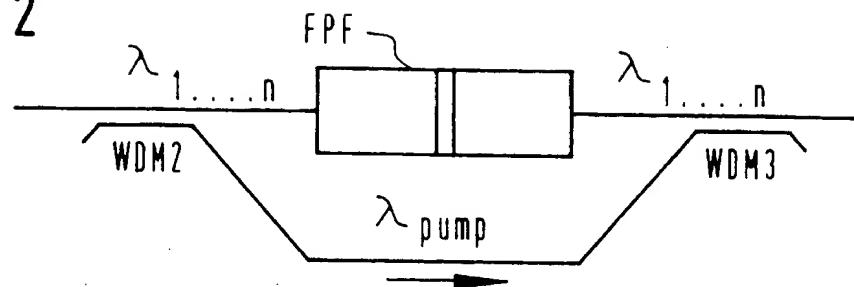


FIG 3

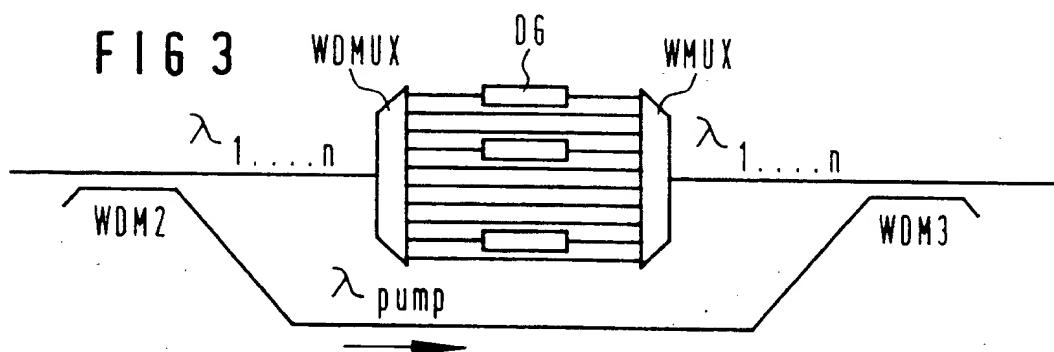
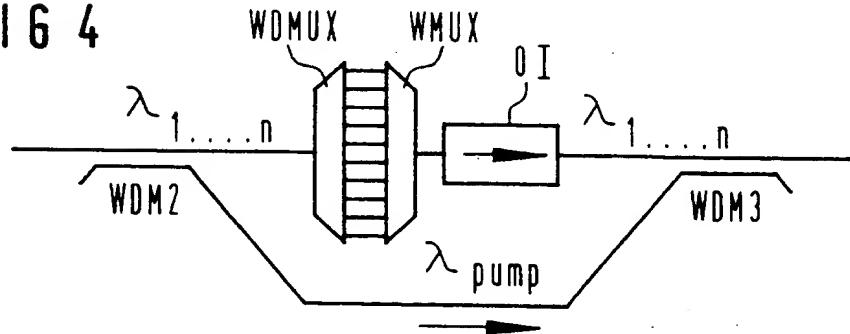


FIG 4





Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 96 11 4910

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE									
Kategorie	Kenntzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)						
Y	IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, Bd. 31, Nr. 3, 1.März 1995, Seiten 472-480, XP000491569 ZERVAS M N ET AL: "EFFICIENT ERBIUM-DOPED FIBER AMPLIFIERS INCORPORATING AN OPTICAL ISOLATOR" * das ganze Dokument * ---	1-5	H01S3/06 G02B6/26						
Y	US-A-5 392 154 (CHANG GEE-KUNG ET AL) 21.Februar 1995 * Abbildung 2 *	1-5							
Y	IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Bd. 5, Nr. 9, 1.September 1993, Seiten 1023-1026, XP000414169 WILLNER A E ET AL: "PASSIVE EQUALIZATION OF NONUNIFORM EDFA GAIN BY OPTICAL FILTERING FOR MEGAMETER TRANSMISSION OF 20 WDM CHANNELS THROUGH A CASCADE OF EDFA'S" * das ganze Dokument * ----	1-5							
			RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int.Cl.6)						
			H01S G02B						
<p>Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Rechercheort</td> <td style="width: 33%;">Abschlußdatum der Recherche</td> <td style="width: 33%;">Prüfer</td> </tr> <tr> <td>MÜNCHEN</td> <td>18.Dezember 1996</td> <td>Maaswinkel, A</td> </tr> </table>				Rechercheort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	MÜNCHEN	18.Dezember 1996	Maaswinkel, A
Rechercheort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer							
MÜNCHEN	18.Dezember 1996	Maaswinkel, A							
<p><b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b></p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet      Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie      A : technologischer Hintergrund      O : nichtschriftliche Offenbarung      P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze      E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist      D : in der Anmeldung angeführtes Dokument      L : aus anders Gründen angeführtes Dokument      &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>									

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**